

Syntetické makromolekulární látky

1. Obecná charakteristika syntetických makromolekulárních látek

Syntetické makromolekulární látky je široký pojem zahrnující plasty, syntetická vlákna a syntetické kaučuky. Lze se setkat i s názvy jako polymery, igelity, bakelity, gumy apod., i když je laická veřejnost zpravidla užívá nesprávně. Z chemického hlediska jsou tyto látky polymery, tj. látky vzniklé polymerací. Polymerace je chemický proces, při kterém se většinou malá jednoduchá molekula, nazývaná monomer, řetězí sama se sebou v mnoha opakováních, až dojde ke vzniku obrovské molekuly, tzv. makromolekuly (z řeckého macros = veliký, dlouhý). Počet opakování této části molekuly udává polymerační stupeň n . Pokud je počet opakování nízký ($n < 10$), označujeme tuto molekulu jako oligomer (oligos = několik). Pokud je počet opakování monomeru v molekule přesně daný, pak hovoříme o tzv. dimeru (zdvojení monomeru), trimeru (ztrojení), tetrameru atd. Opakují-li se během polymerace dva a více různých monomerů, hovoříme pak o tzv. kopolymeraci. Polymery nejsou jen syntetické, existuje mnoho polymerů přírodního původu, jako například škrob, celulóza aj. Velká řada proteinů získává svou funkci až při vytvoření oligomerní struktury.

2. Klasifikace polymerů

Polymery je možné rozdělit do několika skupin podle určitých kritérií, a to například:

1. Podle typu reakcí, kterými vznikly na:

- a) Polymery připravené polymerací (polyinsercí)
- b) Polymery připravené polykondenzací
- c) Polymery připravené polyadící

2. Podle tvaru molekuly na polymery:

- a) Lineární nerozvětvené
- b) Lineární rozvětvené
- c) Síťované

3. Podle chování při zvýšené teplotě na:

- a) Termoplasty (při zahřátí měknou a po ochlazení získávají své původní vlastnosti, jsou dobře rozpustné v organických rozpouštědlech)
- b) Reaktoplasty (při zahřátí se rozkládají, neboť dochází ke změně ve struktuře jejich makromolekul, odolávají organickým rozpouštědlům, jejich účinkem nanejvýš bobtnají)

3. Vlastnosti makromolekul

O tom, jaké vlastnosti bude mít daná syntetická makromolekulární látka rozhoduje několik faktorů, například:

Velikost makromolekuly je závislá na jejím polymeračním stupni. Avšak nelze předpokládat, že všechny makromolekuly mají shodný polymerační stupeň, neboť se jedná o jejich směs. Proto se třeba hustota uvádí v určitém rozmezí – například teflon má hustotu od 2,10 do 2,21 g.cm⁻³. Obecně platí, že s delším řetězcem (vyšším polymeračním stupněm) se stává polymer pevnějším, zvyšuje se jeho odolnost vůči rozpouštědlům a roste jeho teplota měknutí.

Tvar makromolekuly ovlivňuje především chování látky při jejím zahřívání či odolnost vůči organickým rozpouštědlům.

Energie chemické vazby mezi atomy v řetězci hraje velkou roli při rozhodování o stabilitě polymerů. Zákonitě platí, že čím jsou tyto vazby pevnější, tím stabilnější bude daná makromolekulární látka. Nejčastěji se vyskytují polymery s uhlíkatým základním skeletem. Energie vazby mezi dvěma atomy uhlíku C-C je relativně vysoká, její disociační energie je přibližně 348 kJ.mol⁻¹. Přibližně stejnou energii má i vazba Si-O, základ polysiloxanů (lidově silikonů). Velmi silná vazba uhlík-fluor (až 544 kJ.mol⁻¹) je důvodem mimořádné stability a odolnosti polytetrafluorethylenu (Teflon®).

Postranní řetězce a intermolekulární interakce rozhodují o vlastnostech polymeru stejně nebo i více než hlavní řetězec. Vliv substituentů a postranních řetězců je velmi různorodý a závisí na konkrétním případě. Obecně postranní řetězce stabilizují polymer - brání v přístupu k hlavnímu řetězci, čímž ho chrání, a zvyšují počet intermolekulárních interakcí, např. vodíkové můstky, van der Waalsovské interakce, hydrofobní interakce atp., čímž roste odolnost vůči teplotě a rozpouštědlům.

4. Plasty

Velmi významnou skupinou polymerních materiálů jsou **plasty**. Jsou to látky za běžné teploty **tuhé**, většinou snadno **tvárovatelné**, obrábitelné, **lehké** s dobrými **izolačními vlastnostmi** – mohou být izolanty tepelnými, zvukovými i elektrickými, avšak byly již také připraveny plasty vodivé. Jelikož základní surovinou pro jejich výrobu jsou uhlovodíky či jejich deriváty, které se získávají z ropy, není jejich výroba ekonomicky náročná. Velkou výhodou plastů je skutečnost, že například **nepodléhají korozi** (na rozdíl od kovů). Ve většině případů jsou plasty **hořlavé** a málo odolné vůči vyšším teplotám. Vysoká odolnost je ale také důvodem, proč se plasty většinou samovolně v přírodě nerozkládají. Obecně platí, že čím je vyšší stabilita polymeru, tím déle probíhá jejich odbourávání (např. polyethylen má poločas rozpadu v přírodě 5 let, polypropylen 75 let). Proto je žádoucí, aby se plasty **recyklovaly**. Je rovněž vynakládáno velké úsilí zavést plasty, jež budou **biologicky odbouratelné**.

5. Syntetická vlákna

Mnoho plastů je výchozí surovinou pro výrobu **syntetických vláken**. Ty nachází uplatnění především v textilním průmyslu. Oproti přírodním vláknům (vlně, bavlně) jsou **nemačková, pevná, odolná** vůči plísni a molům a rychle **schnoucí**. Kvůli

chybějícím savým vlastnostem ale nedovedou absorbovat pot. Jejich další nevýhodou je jejich hořlavost a mimořádná snadnost se nabíjet elektřinou.

6. Syntetické kaučuky

Velmi důležitými makromolekulárními syntetickými látkami jsou **syntetické kaučuky**, které je možné vzhledem k jejich **pružnosti** natahovat, a to až o 1000 % jejich původní délky, přičemž se po ukončení deformace vracejí téměř do svého původního stavu (tyto látky nazýváme **elastomery**). Nejběžnějším syntetickým kaučukem je butadienový kaučuk a kopolymer butadienu-styrenu. Kvůli nízkým výrobním nákladům téměř vytlačili využívání **přírodního kaučuku**, polymerního isoprenu (**2-methylbuta-1,3-dienu**), který se získává z latexu (40 % tvoří kaučuk), který vytéká z kaučovníku po naříznutí jeho kůry. Důležitým procesem při zpracování kaučuků je tzv. **vulkanizace** (viz níže).

7. Aditiva

Vlastnosti polymerních látek ovlivňují příměsné látky, aditiva, která se do nich přidávají během výroby. Aditiva mohou naprosto změnit charakter látky, např. z izolantu udělat vodič elektrického proudu, z hořlavého plastu nehořlavý, nebo z tvárné měkké hmoty udělat tvrdý konstrukční materiál. Mezi nejčastější aditiva patří:

- **Změkčovadla** (zvyšují tvárnost)
- **Tvrdidla** (snižují tvárnost a zvyšují mechanickou odolnost)
- **Plniva** (zvětšují objem)
- **Retardéry hoření** (zpomalují hoření nebo mu přímo zabraňují)
- **Pigmenty** (dávají materiálu jinou barvu, mohou chránit proti účinkům UV záření)
- **Antioxidanty** (brání jejich příkladnému rozkládání vzdušným kyslíkem)

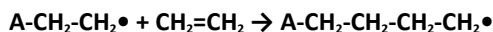
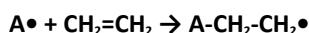
8. Vznik polymerů

Makromolekuly uměle vyrábíme polymerací. Dle mechanismu reakce rozlišujeme **polyinserci**, **polykondenzaci** či **polyadici**, které lze dále rozdělit na reakce radikálové a iontové (kationtové a aniontové). Souhrnně lze tyto reakce označit jako polyreakce. Jelikož jsou polymerace velmi exotermní reakce, musí se pečlivě kontrolovat teplota reakční směsi, protože s rostoucí teplotou se snižuje polymerační stupeň n , probíhají konkurenční reakce a může docházet až k depolymeraci (opačný proces k polymeraci, rozpadá se makromolekula a vznikají násobné vazby).

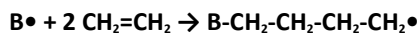
1. Radikálová polymerace je iniciována radikálem. Nejčastěji se pro tento účel využívají peroxidy nebo UV záření.

a) Iniciece – v první fázi reakce vznikají homolytickým štěpením (homolýzou) dva radikály: $A-B \rightarrow A\bullet + \bullet B$

b) Propagace – v druhé fázi reaguje radikál s monomerem, přičemž jeden nespárovaný elektron z násobné vazby je využit na vznik vazby s radikálem a druhý se přesouvá na atom uhlíku:



Stejně roste řetězec i na druhém radikálu:

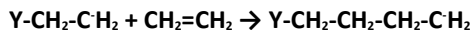
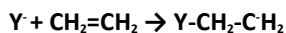


c) Terminace – reakce se ukončí spojením dvou radikálů: $A-(CH_2)_n\bullet + B-(CH_2)_m\bullet \rightarrow A-(CH_2)_n-B$

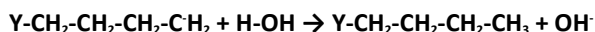
2. Iontové reakce dále rozdělujeme na kationtové a aniontové dle toho, která částice zahájí polymeraci. Ukážeme si mechanismus polymerace aniontové:

a) Iniclace – v první fázi dojde k heterolytickému rozštěpení vazby v molekule činidla (heterolýze): $X-Y \rightarrow X^+ + Y^-$

b) Propagace – anion reaguje s monomerem, poskytuje svůj elektronový pár (záporný náboj) ke vzniku vazby, elektrony z násobné vazby se přesouvají na atom uhlíku, který tím získává záporný náboj, vzniká karbanion:



c) Terminace – reakce je ukončena buď spotřebováním veškerého monomeru, nebo přidáním elektrofilu. Nejčastěji se pro tento účel používá voda nebo alkoholy, poskytující proton, který reaguje s karbaniontem.



Hydroxylový anion OH^- reaguje s kationtem vzniklým při iniciaci: $OH^- + X^+ \rightarrow X-OH$

8.1 Polyinserce

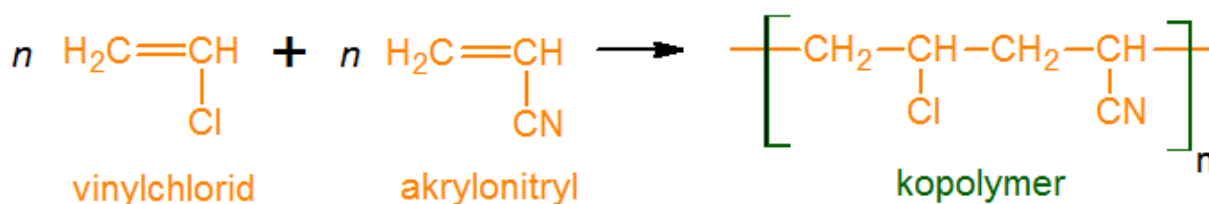
Polyinserce je formálním "vsunutím" molekuly s násobnou vazbou do vazby jednoduché, nejčastěji C-H. Polyinserce je typická pro polymeraci olefinů (ethylen, propylen, butadien, styren,...). Obrovský rozmach takto získaných látek nastal se zavedením Zieglerových-Nattových katalyzátorů roku 1956. Dnes se takto vyrábí na 100 milionů tun plastů ročně. Může docházet k polymeraci jedné anebo více látek. V prvním případě hovoříme o **homopolymeraci**, v tom druhém se jedná o **kopolymeraci**.

Příklad homopolymerace:



ethylen polyethylen

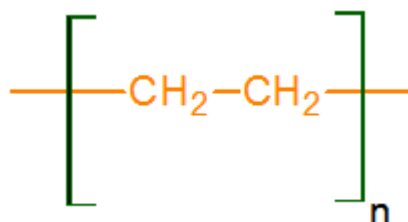
Příklad kopolymerace:



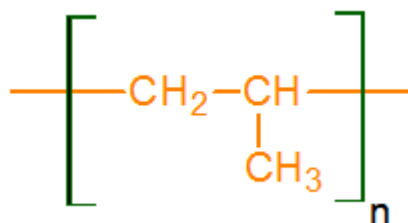
"Ke stojanu upevníme pomocí držáku do vodorovné polohy zkumavku, do které vložíme několik kousků polyethylenu či polypropylenu (např. část igelitového sáčku). Zkumavku uzavřeme zátkou, kterou prochází skleněná trubička. Její druhý konec umístíme do zkumavky s bromovou vodou. Pomocí kahanu začneme pozvolna zahřívát polyethylen (resp. polypropylen) ve zkumavce. Zahřívání ukončíme, jakmile dojde k barevné změně ve zkumavce s bromovou vodou – zahříváním polyethylenu (resp. polypropylenu) vzniká ethylen (resp. propylen), jehož molekula obsahuje jednu dvojnou vazbu mezi atomy uhlíku (C=C). Brom se na ethylen (resp. propylen) aduje, přičemž dochází k zániku dvojně vazby. Vznik bromderivátu prokazuje odbarvení bromové vody."

8.1.1 Syntetické látky získané polyinsercí

Polyethylen (PE) patří společně s polypropylenem mezi dva nejrozšířenější plasty. Může vznikat polymerací ethylenu vysokotlakovou, ale také nízkotlakovou, a sice s využitím **Zieglerových Nattových katalyzátorů** (tj. směs organokových sloučenin hliníku Al, titanu Ti a vanadu V). Je bezbarvý, má menší hustotu než voda. Využívá se pro výrobu obalových folií, sáčků, hadic, potrubí či nerozbitných lahví pro úschovu chemikálií.

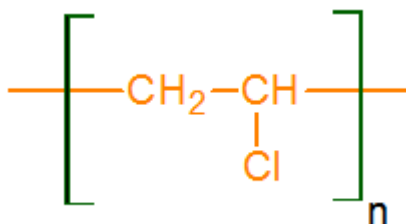


Polypropylen (PP) se svými vlastnostmi podobá polyethylen. Je však oproti němu tvrdší a tužší. Využívá se při výrobě syntetických vláken (pro termoprádlo, plenkové kalhotky), bazénů, septiků, truhlíků (květináčů) či obalů od kosmetiky. Celosvětová produkce polypropylenu i polyethylenu se pohybuje okolo 30 milionu tun.

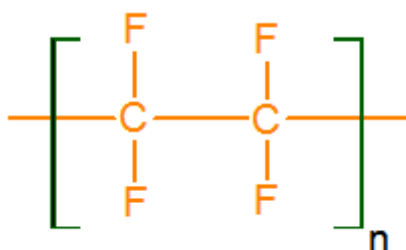


Polyvinylchlorid (PVC) je druhým nejpoužívanějším plastem na Zemi. Jelikož obsahuje ve své makromolekule atomy chloru, není vhodné jej spalovat. Může se vyrábět v neměkčené formě jako **novodur**, využívaný pro výrobu trubek, tyčí, okenních

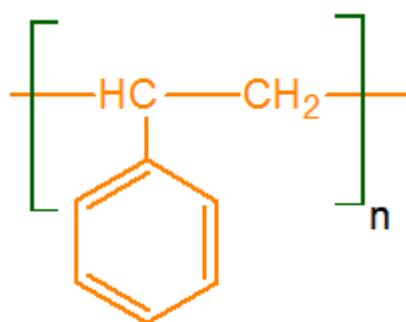
rámů či billboardů. Ze směsi novoduru a polyvinylacetátu se vyráběly gramofonové desky. Měkčená forma polyvinylchloridu se nazývá **novoplast** a vyrábí se z něj podlahové krytiny (lino), koženka, hračky či folie.



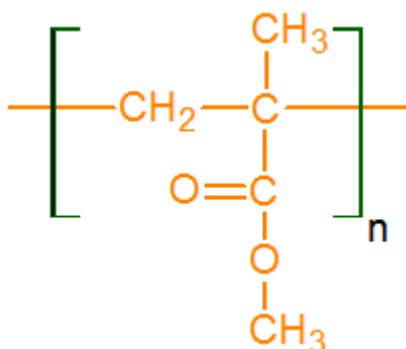
Polytetrafluorethylen (PTFE) je znám spíše pod komerčním názvem **Teflon®**. Ze známých plastů je chemicky i tepelně nejvíce odolný. Je nenasákavý, odolný vůči světlu a má výborné elektroizolační vlastnosti. V Guinnessově knize rekordů je zapsán jako látka mající nejhladší povrch. Využívá se pro výrobu nepřilnavých povrchů, např. pánví, potrubí, těsnění, kostních náhrad, protipožárních obleků, chemického nádobí, štítů kosmických lodí, ubrusů, skluznic lyží či jako ochranná vrstva proti korozi (chrání například Sochu svobody).



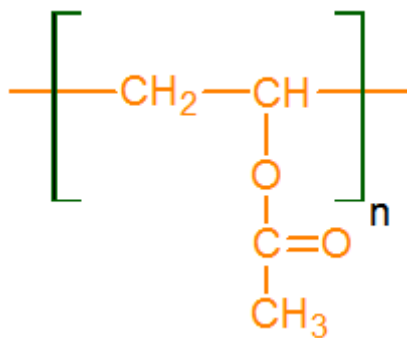
Polystyren (PS) je tvrdá, křehká, sklovitě průhledná hmota. Má dobré elektroizolační vlastnosti. Využívá se pro výrobu hraček, misek, knoflíků, hřebenů, obalů na CD, kelímků od jogurtů, stavebnic či skříněk televizorů. Jeho známější formou je **pěnový polystyren**, který se využívá jako tepelný izolant – zateplují se ním budovy.



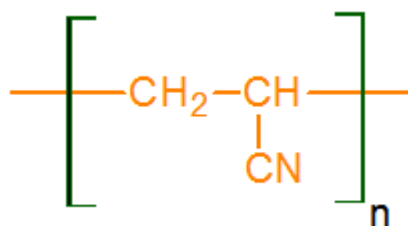
Polymethylmethakrylát (PMMA) je znám také jako organické sklo či jen **plexisklo**. Využívá se při výrobě ochranných brýlí, zubní protézy anebo pouličních lamp. Kontaktní čočky se vyrábí z chemicky podobného polymeru.



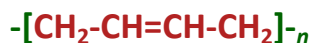
Polyvinylacetát (PVAc) se využívá pro výrobu nátěrových hmot, lepidel a k impregnaci (zvýšení nesmáčivosti) textilií.



Polyakrylonitril (PAN) nachází uplatnění při výrobě textilních vláken či gelů pro nejrůznější aplikace.



Syntetické kaučuky jsou důležitou skupinou látek, které vznikají polyinsercí. Výchozí surovinou pro jejich výrobu je **buta-1,3-dien**. Syntetické kaučuky se řadí mezi **elastomery**, neboť se po deformaci navrací téměř do svého původního stavu. Pružnost a tvárnost je dána přítomností dvojných vazeb, na druhou stranu jsou násobné vazby příčinou nízké odolnosti.



Zvýšení odolnosti se dosahuje procesem zvaným vulkanizace. Při vulkanizaci dochází k provázání polymerních řetězců, čímž vzrůstá pružnost, na druhou stranu již není možné hmotu tvarovat. K provázání řetězců dochází po přidání síry, která reaguje s násobnými vazbami a vznikají polysulfidické můstky. Kvůli mechanickým vlastnostem se často přidávají i saze (zvyšují odolnost vůči opotřebení) a olej, který usnadňuje zpracování před tepelnou fixací finálního tvaru. Vulkanizovaný kaučuk nese název **pryž**. Podle množství přidané síry rozlišujeme **měkkou pryž (do 5 % síry)**, **polotvrdou pryž (5 - 25 % síry)** a **tvrdou pryž (25 - 32 % síry)**. Kromě pneumatik se syntetické kaučuky využívají i při výrobě obuvi, hraček, lékařských pomůcek, lepidel či nátěrových hmot.

Butadienstyrenový kaučuk (Krallex®) vzniká kopolymerací **styrenu** a **buta-1,3-dienu**. Využívá se pro výrobu pneumatik či latexů, z kterých se vyrábí různá lepidla a nátěrové hmoty. Tento kaučuk se využívá i pro výrobu hadic, pláštěů či podrážek bot.

Butadienakrylonitrilový kaučuk se vyrábí při kopolymeraci **akrylonitrilu** a **buta-1,3-dienu**. Jelikož je odolný vůči olejům a ropě, využívá se k obkládání cisteren přepravujících tyto kapaliny.

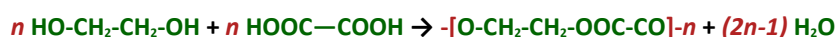
Chloroprenový kaučuk vzniká polymerací **2-chlorbuta-1,3-dienu** (chloroprenu) a využívá se k výrobě kvalitních lepidel.

"Připravíme si vzorky některých plastických hmot, jako třeba kousek linolea, ústřížek mikrotenového sáčku, rybářského vlasce, pěnového polystyrenu anebo části výpletu tenisové rakety. Polymery budeme dokazovat ve čtyřech pokusech: 1. Připravíme si dvě kádinky o objemu alespoň 400 ml. Do poloviny objemu první kádinky nalijeme vodu, zatímco druhou kádinku naplníme rovněž do poloviny jejího objemu směsí vody a ethanolu (lihu) v objemovém poměru 1:1. Vzorky plastů vložíme nejprve do první kádinky. Ty, které budou plavat na hladině vody, jsou zhotoveny z polyethylenu či polypropylenu. Proto je dáme do druhé kádinky. Vzorky, které budou opět plavat na hladině, jsou zhotoveny z nízkotlakového polyethylenu. Vzorky potopené ke dnu byly vyrobeny buď z vysokotlakového polyethylenu nebo polypropylenu. 2. V plameni kahanu rozžhavíme měděný drátek, který poté budeme přikládat postupně ke zbylým plastickým hmotám. Jakmile se na drátek přitaví část plastu, vložíme ho opět do plamene kahanu. V případě, že je v polymeru vázán halogen, zbarví se plamen kahanu zeleně. Halogen má v sobě vázaný například polyvinylchlorid (PVC), a sice chlor. Tento důkazový test se nazývá Beilsteinova zkouška. 3. Opět si připravíme kádinku (postačuje 200 ml), do které nalijeme aceton, aby vytvořil vrstvičku o výšce alespoň 2 cm. Poté budeme do kádinky s acetonem postupně vkládat jednotlivé vzorky plastických hmot, přičemž každou v ní necháme 10 minut. Jestliže dojde za tuto dobu k rozkladu, deformaci nebo změknutí plastu, jedná se o polystyren (PS). 4. Nakonec umístíme vzorek každého plastu do zkumavky, kterou začneme zahřívat nad kahanem. Jakmile začne docházet ke vzniku par, přiložíme k ústí zkumavky navlhčený indikátorový papírek. Zmodrání papírku symbolizuje, že je vzorek zhotoven z polyamidu – změnu barvy způsobil uvolňující se zásaditý amoniak NH_3 . Byly-li všechny testy negativní, jedná se o jiný plast.

8.2 Polykondenzace

Dalším typem polyreakce je **polykondenzace**, při které se spojují dvě kondenzující látky za současného odštěpení vedlejšího produktu – nízkomolekulární sloučeniny, kterou je nejčastěji **voda H_2O** , **amoniak NH_3** či **chlorovodík HCl** . Pro průběh polykondenzace je nutné, aby každý z monomerů měl alespoň dvě charakteristické (funkční) skupiny. Látky vzniklé při procesu polykondenzace se označují polykondenzáty.

Příklad polykondenzace:



Mechanismus polykondenzace je stejný jako mechanismus odpovídající základní reakce, např. při polyesterifikaci dochází k mnoha esterifikacím po sobě. Stejně tak se při polykondenzacích využívají stejné katalyzátory jako u jednoduchých reakcí, např. pro polyesterifikaci se využívají minerální kyseliny (např. kyselina sírová H_2SO_4)

8.2.1 Syntetické látky získané polykondenzací

Polyestery (PES) jsou látky vznikající polykondenzací **esterů vícesytných kyselin** s **vícesytnými alkoholy**. Nacházejí široké uplatnění při výrobě textilních vláken, nátěrových hmot, pryskyřic či lan. Dnes již téměř nevyráběné jsou filmové a magnetofonové pásky z polyesterů.

Polyethylentereftalát (PET) se vyrábí polykondenzací **methylesteru kyseliny tereftalové** a **ethylenglykolu**.

Polyethylentereftalát se využívá pro výrobu plastových (PET) lahví, či tesilových (terylenových) vláken (proto se pro něj

používá také obchodní název Tesil®) vznikajících při jeho zvláknění a spřádání s vlněnými vlákny. Tesilová vlákna jsou pevná, pružná a trvanlivá.

Významnou skupinou látek jsou **polyesterové pryskyřice**, které se vyztužují vlněnými vlákny na polyesterové sklolamináty. Tyto látky mají dobré elektroizolační vlastnosti, jsou velmi pevné (jejich pevnost se přibližuje oceli) a odolné vůči chemikáliím. Proto se využívají pro výrobu automobilových karoserií, letadel, střešních krytin, potrubí v chemickém průmyslu, lodí a ochranných přileb využívaných v průmyslu, stavebnictví i dopravě. Jestliže se při polykondenzaci využije trojsytný alkohol (např. glycerol), vznikají zesíťované polyestery. Polyestery **kyseliny ftalové** a **glycerolu** tvoří **alkydové pryskyřice** a využívají se při výrobě nátěrových olejů a laků s vysokým leskem.

Aminoplasty (močovino formaldehydové pryskyřice) vznikají polykondenzací **formaldehydu** s **močovinou** či jejími deriváty. Produktem této polykondenzace je lineární polymer, při zahřívání v kyselém prostředí dochází k zesíťování. Tyto látky jsou bez zápachu a patří mezi reaktoplasty. Využívají se pro výrobu tmelů, lepidel, nátěrových hmot, elektrotechnických výrobků, spotřebního a zdravotnického zboží, plastových kelímků, talířů či misek.

"Do zkumavky (min. objem 30 ml) nalijeme 10 ml 40 % roztoku formaldehydu, ke kterému přidáme 1 ml koncentrované kyseliny chlorovodíkové a 1 g močoviny. Zkumavku upevníme ke stojanu a ponoříme do vodní lázně (kádinka s vodou), ve které ji budeme zahřívát. Směs ve zkumavce průběžně mícháme skleněnou tyčinkou. Po několika minutách se vyloučí bílá sraženina, což je vzniklý polykondenzát."

Polyamidy (PA) jsou velmi důležité látky vznikají polykondenzací vícesytné karboxylové kyseliny a vícesytného aminu. Pro tyto látky je charakteristická přítomnost **peptidické vazby –CO-NH-** v jejich struktuře. Tento typ spojení je charakteristický například pro mnohé bílkoviny. Materiály zhotovené z polyamidů bývají obvykle pevné, tvrdé, málo se opotřebovávají a s nízkým koeficientem tření.

Velmi významný je **Nylon 66** vznikající polykondenzací **kyseliny adipové** (hexan-1,6-diové) a **hexan-1,6-diaminu**. **Nylon 66** byl znám již za II. světové války, kdy se z něj vyráběly dámské punčochy („najlonky“). Patří k nejrozšířenějším látkám pro výrobu syntetických vláken, která jsou rychle schnoucí, elastická, nemačková, ale zato hořlavá, neprodyšná a snadno se elektricky nabíjející. Kromě toho se z nylonu 66 vyrábí provazy, lana, ozubená kola či obroučky brýlí. Dalším významným zástupcem polyamidů je silon, který vzniká polymerací **kyseliny 6-aminohexanové**:

Silon se využívá pro výrobu oděvů, chirurgických nití, stanů, padáků, ohnivzdorných materiálů, helem, punčoch, rybářských vlasců, výpletů tenisových a squashových raket či koberců. V České republice se silon vyrábí v mnoha podnicích.

"Do zkumavky dáme 1 g vzorku silonu (např. z rybářského vlasce) a pozvolna ji začneme zahřívát nad kahanem. Poté, co začnou vznikat páry, přiložíme k ústí zkumavky vodou navlhčený indikátorový papírek. Ten zmodrá, neboť se ze zahřívání látky uvolňuje zásaditý amoniak (čpavek) NH₃."

Fenolformaldehydové pryskyřice (fenoplasty) patří mezi nejstarší synteticky připravené makromolekulární látky. V roce 1907, připravil **Leo Baekeland** (proto se fenoplastům občas říká i bakelity) novolak polykondenzací **fenolu** s **formaldehydem** v kyselém prostředí.

Novolak je termoplast, který se dobře rozpouští v organických rozpouštědlech. Využívá se při výrobě laků či lepidel. V závislosti na reakčních podmínkách může docházet k plošnému zesíťování. Takto vzniklé látky se nazývají **rezoly**. Jejich

zahřáním vznikají rezity, jejichž řetězce jsou prostorově zesíťované. Jsou to látky těžkotavitelné, téměř nerozpustné v organických rozpouštědlech. Fenoplasty mají vždy tmavou barvu a charakteristicky zapáchají. Využívají se pro výrobu klik u dveří, elektronických součástek, vypínačů, telefonů, televizí, rádií či kancelářských potřeb.

"Do zkumavky vložíme 1 g vzorku fenoplastu a začneme ji zahřívát nad kahanem. Jakmile začne docházet ke vzniku par, přiložíme k ústí zkumavky filtrační papírek navlhčený roztokem chloridu železitého $FeCl_3$. Změnu barvy způsobil unikající fenol."

Epoxidové pryskyřice vznikají polykondenzací **víciesytných fenolů** a sloučenin obsahující **ethylenoxidovou (epoxidovou) skupinu**. Tyto látky se uplatňují při výrobě laků či lepidel.

Silikony (siloxany) se od ostatních syntetických látek odlišují tím, že je jejich centrálním atomem křemík (latinsky silicium) namísto uhlíku. V makromolekulách silikonů se pravidelně střídají atomy křemíku a kyslíku **-Si-O-**, přičemž na atom křemíku se váží další dva substituenty. Velkou výhodou silikonů je jejich odolnost vůči změnám teploty. Jsou **nesmáčivé** a mají dobré **elektroizolační vlastnosti**. Jestliže jsou silikonové pouze lineární větvené, jedná se o **silikonové oleje**, které se využívají při mazání strojů (pracujících při teplotách od $-75\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $200\text{ }^{\circ}\text{C}$), vymazávání forem či pro navlhčování alkalických kovů za účelem zabránění jejich oxidace při dlouhodobém uchovávání. Silikony s delším řetězcem se označují **silikonové vazelíny** či **pasty**. Využívají se jako impregnační leštící materiály pro ochranu obuvi, nábytku i autokaroserií. Silikonové kaučuky jsou oproti kaučukům přírodním i syntetickým (připravené z buta-1,3-dienu a případně další látky) elastické i při teplotách od $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $25\text{ }^{\circ}\text{C}$. Jejich makromolekuly jsou částečně zesíťované. Značně zesíťované jsou **silikonové pryskyřice** využívané pro výrobu nátěrů odpuzujících vodu a odolávajících velkým teplotním rozdílům.

8.3 Polyadice

Poslední polyreakcí, kterou můžeme připravovat syntetické makromolekulární látky, je **polyadice**. Dochází při ní k reakci dvou různých monomerů, ale oproti polykondenzaci zde nevzniká žádný vedlejší produkt. Významnou polyadiční reakcí je vznik **polyurethanu** při polyadici **hexan-1,6-diyldiisokyanátu** a **butan-1,4-diolu**

8.3.1 Syntetické látky získané polyadicí

Polyurethany (PUR) se využívají při výrobě syntetických vláken a kůží, elastických pěnových látek (například molitan), fotbalových míčů, výplní lednic a lyží, umělých povrchů na stadionech, koulí na bowling či různých lepidel.

9. Modifikované přírodní polymery

Modifikované přírodní polymery označují chemicky upravené přírodní makromolekulární látky, **biopolymery**.

Nejběžnějšími přírodními polymery jsou přírodní kaučuk, celulóza a škrob (obojí polysacharidy), nukleové kyseliny, bílkoviny a polyterpeny. Celulóza odolává mnoha rozpouštědlům, proto je třeba zpracovávat. Její reakcí s 20 % vodným roztokem **hydroxidu sodného NaOH** a **sírouhlíkem CS_2** vzniká **xanthogenát celulosy** využívaný při výrobě viskózy. Ta slouží k výrobě viskóзовého hedvábí a celofánu. Viskóзовé vlákno je lesklé a dá se dobře barvit. Dalším derivátem je **acetát celulosy** vznikající esterifikací **celulosy** s **anhydridem kyseliny octové**. Z acetátu se vyrábí nehořlavé filmy, trikotové prádlo (trička aj.) či acetátové hedvábí.